

熱線風速計の研究

段 野 勝*・平 松 良 雄**

Studies on a Hot Wire Anemometer

Masaru DANNO and Yoshio HIRAMATSU

The present paper deals with some improvements successfully introduced to an anemometer by the authors.

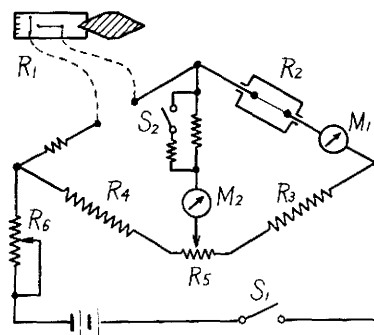
The sensitiveness of a hot wire anemometer is generally known to decrease as the air velocity increases. This, however, was improved to some extent by adopting the following method. Two pieces of Pt-wire for the hot wire, one in a parallel direction with the air current and the other perpendicular to the former were stretched. Fluctuation of the pointer of the meter indicating the air velocity was minimized by applying an over-damped meter. Efforts were also made to minimize the error due to the voltage drop of electric source. The hot wire anemometer thus obtained proved to be useful in some mines and factories.

1. 緒 言

化学工場や鉱山においては低風速の測定を必要とする場合がしばしばある。2 m/s 以上の風速であればピトー管と微圧計とを用いて比較的正確にこれを測定することができるが、それ以下の低風速の測定には熱線式の風速計が適しているように思われる。熱線風速計は今日までに多くの研究や、試作品が発表せられているが、示度に狂いを生じ易かったり、指向性が無かったり、風速と指示値とが指数曲線的であったり、高圧の電源が必要であったりして実用上充分とはいえないように思われた。そこで著者は従来の簡単な熱線とブリッジ回路だけを用いた熱線風速計の性能向上について研究した結果をまとめてここに報告したいと思う。

2. 熱線風速計の構造

第1図は熱線風速計の結線図である。2本の熱線と2本のマンガニン抵抗線でホイートストン・ブリッジが構成されている。熱線 R_1 は受風器の中に張られており、熱線 R_2 は温度補償を行なうためのもので、指示器の一隅に設けられた密閉容器の中に張られている。2本の熱線はそれぞれ直径約 0.03 mm の純白金線で常温で約 5Ω 、使用状態で約 7Ω である。 S_1 は電源スイッチで、 S_2 は風速の測定範囲を $0 \sim 2$ m/s および $0 \sim 4$ m/s の2段に分けて測定するための切換スイッチで、風速の高い場合は開き、低い場合は閉じる。 R_5 は零位調整を行なうための可変抵抗器で、零位調整を行なう時は受風器は気流にさらさないようにする。 R_6 は電流調整を行なうための可変抵抗器で、電流計 M_1 を見ながら熱線に流れる電流を一定値にする。 M_2 は風速を指示するための電流計である。



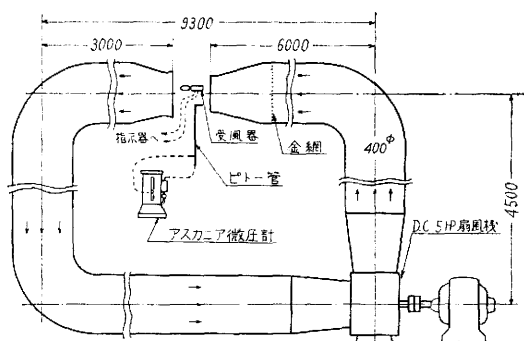
第1図 熱線風速計の結線図

* 福井大学助教授

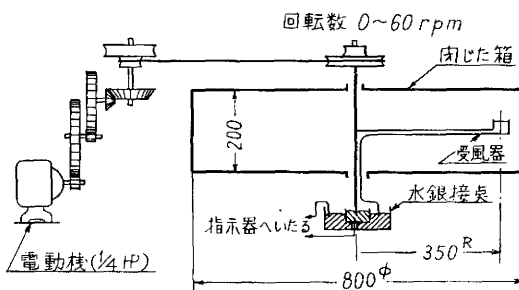
** 京都大学教授

3. 指示特性の調査

基準となる風速は比較的速い場合、($> 1 \text{ m/s}$) 第2図に示す循環式風洞中にピトー管を置き、これにアスカニア微圧計(精度 $1/100 \text{ mm}$ 水柱)をつないで測定し、比較的低い場合は第3図に示すように、閉じた箱の中で一定緩速度で回転する腕に受風器を付け、その速度を風速と見做して補正を試みた¹⁾。これらの方法による結果はほとんど食い違いを認めなかった。更に直径 15 cm と 5 cm の管を接ぎ、太い管内に熱線風速計の受風器を置き、後者の端から送風機で空気を吸出し、細い管の流量をピトー管を用いて測り、これから太い管の平均風速を計算し、上記の二つの方法によって作った補正曲線を用いて求めた平均風速と比較したが、3者はよく一致することが認められた。以上の実験で求めた風速とブリッジ電流との関係は第4図の曲線Ⅰに示すようである。



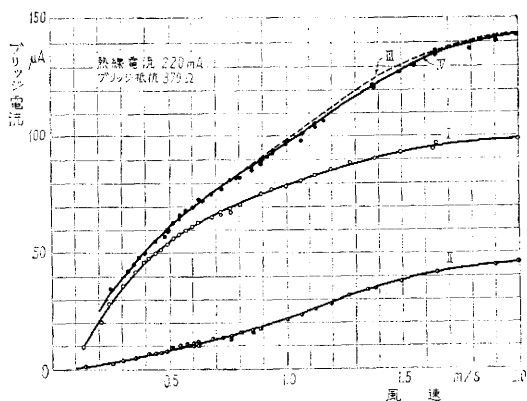
第2図 循環式風洞



第3図 低風速の補正を行なう実験装置

4. 指示特性の改良

このように極く低風速では、非常に感度が高いが、風速の増加とともに感度は急激に低下するという欠点が認められる。従来風速と指示値との関係を、直線的に近づける方法としては Huguenard, Magnan, Planiol^{2), 3)} の補償回路を使う方法や、真空熱電対を指示計に用する方法⁴⁾ やサーミスターと真空管を使用する方法などが発表されている⁵⁾。しかし著者は従来の簡単な熱線とブリッジ回路だけを用いて特性を改良することを試みた⁶⁾。熱線が気流に直角に置かれている場合の熱損失の問題は実験的にも理論的にも従来相当検討せられ、これを用いた熱線風速計の特性はさきに述べた第4図の曲線Ⅰの通りであるが、熱線が気流に平行に置かれた場合についてはあまり研究されていない。そこで



第4図 風速とブリッジ電流の関係

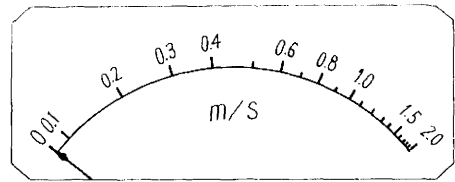
でこのような熱線を用いて実験的に風速とブリッジ電流との関係を求めた結果は第4図の曲線Ⅱのよう、風速の極く低い範囲ではかえって感度が低いことが認められた。しかし風速が比較的高くなると感度はやや増加するが、更に高くなると再び感度は低下する。したがって気流に直角に置いた熱線と、平行に置いた熱線を適当に直列に接続したものを一つの受感部とすると、特性が改善されるはずである。いま曲線ⅠおよびⅡを図式的に合成すれば曲線Ⅲのようであり、実際に試験した結果は曲線Ⅳであって両者はよく一致する。熱線が気流に平行に置かれた場合の特性曲線Ⅱの形は電流や熱線の長さによって変る。あらかじめ一定電流で気流に直角の場合ならびに平行の場合のそ

れぞれについて二三種の長さの熱線の特性曲線を実験的に求めておけば、これらを適当に合成することにより、かなり希望に近い特性曲線を得ることが可能である。しかし本器の電流、熱線の直径などの条件では風速が約 2 m/s より高くなると特性曲線がほとんど水平となってくることはまぬがれない。この方式で試作した風速計と初期に作ったものとの目盛を比較すれば第5図のようである。

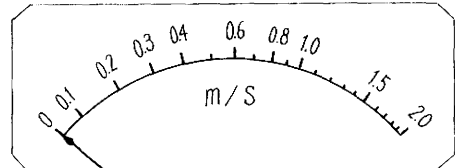
5. 測定時における指針のふらつきの防止

実験室などの整流装置を取付けた風洞は別として、実測しようとする気流は一般にたえず変動している。

一方本器に使用している白金線は直径が非常に小さいから熱容量が小さく、そのため気流の変動によって熱線温度も変動し、したがってブリッジ電流も変動する。このふらつきの程度は熱線の熱容量、指示電流計の制動および受風器の形状などに関係するはずである。まず、電流計の制動状態の影響を調べるため熱線の抵抗変化を遅れなく測定できるように、ブリッジ電流を電磁オッシログラフの振動子に接続して記録し、これと同時にブリッジ電流を数種の電流計によって測定する場合の指度を16mm撮影機を用いて連続撮影し、両者を比較検討した。両者の時間を合わせるのは16mmフィルムに対しては豆電球で合図し、オッシログラフに対してはこの電球回路の電流を別の振動子によって記録させて行なった。第6図(a)はこの結果を示したもので、直接オッシログラフに記

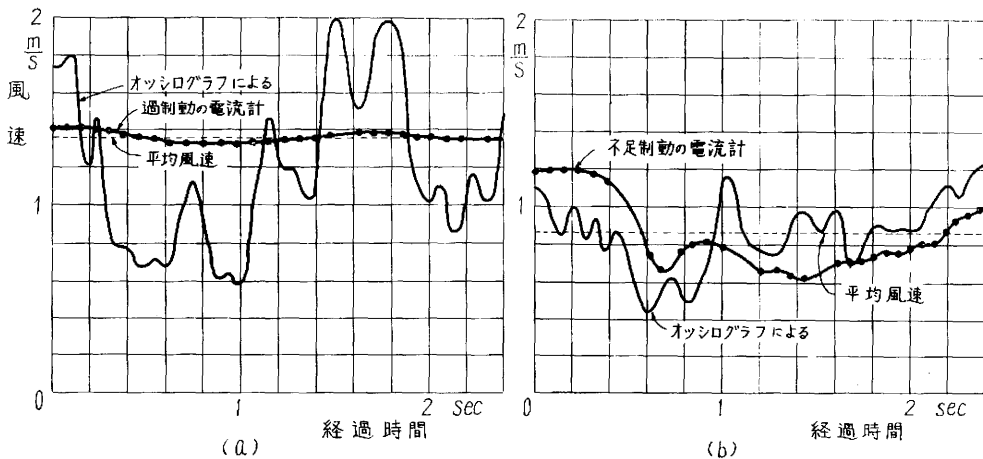


最初に作った計器



新しい計器

第5図 目盛の比較

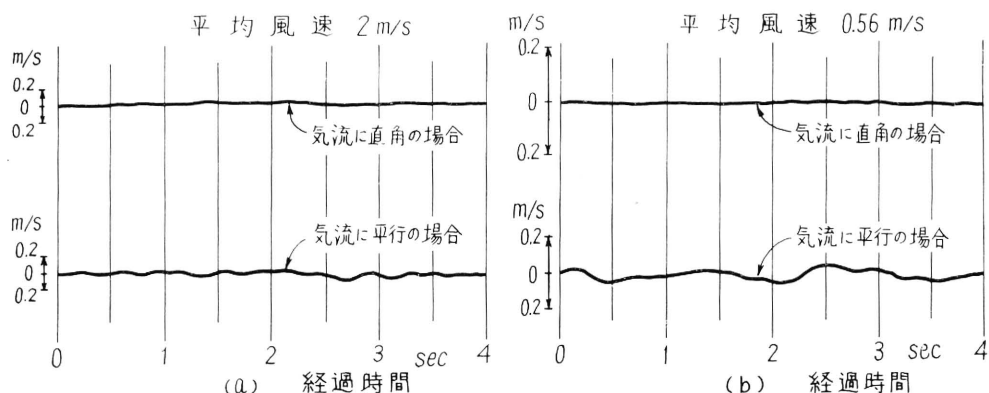


第6図 電流計の制動状態の比較

録したブリッジ電流と特別に制動棒を使用した過制動状態の電流計の指度の記録とを比較したものである。同図(b)はオッシログラフに表われたものと、不足制動の電流計の指度とを比較した結果で、使用する電流計の制動を大きくすることにより充分ふらつきを小さくすることができることが分る。普通電流は指針の制動が臨界制動であるか、あるいは幾分不足制動としてあるのが普通であるが⁷⁾、われわれの目的には過制動状態のものが適するものと思われる。

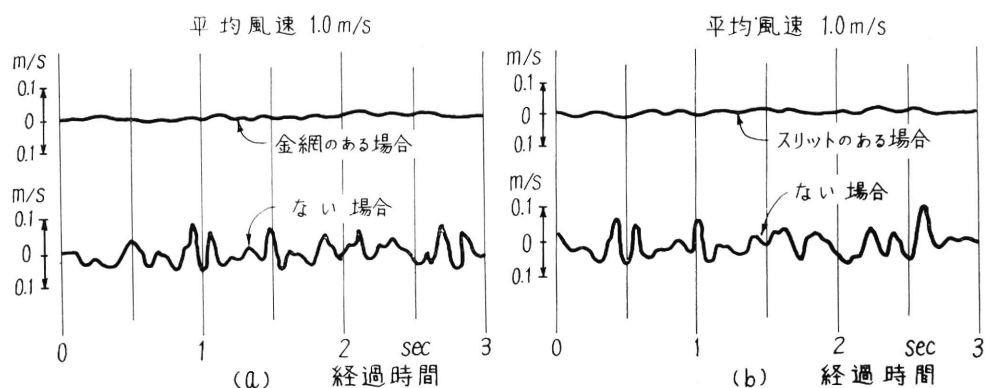
熱線の方角も指針のふらつきに影響があるようで、気流に平行に置いた場合は直角に置いた場合よりも幾分指針のふらつきが大きい。第7図はこのふらつきの程度を比較した結果を示したもの

で、同図 (a) は風速 2 m/s のときの結果で、(b) は風速 0.56 m/s にしたときの結果である。こ



第7図 熱線の方角による指針のふらつきの比較

のように風速が低い場合の方が指針のふらつきは幾分大きい。何れも各風速について電磁オシログラフの同種の二つの振動子を同時に使用して求めたものである。また熱線の前方に金網や多数のスリットを置くことによってふらつきをかなり小さくできることが分った。ふらつきが著しいのは



第8図 金網やスリットのある場合の指針のふらつきの比較

前述のように熱線を気流に平行に置き、しかも風速 1 m/s 程度の場合であるから、つぎにこの条件で金網とスリットの影響を検討した。第8図 (a) は気流に平行に置いた同一条件の白金線に金網がある場合とない場合のふらつきの比較を、第8図 (b) は金網の代りに多数のスリットを設けた場合のふらつきの比較を示したもので、何れも電磁オシログラフの二つの振動子を同時に使用して求めたものである。写真1に電磁オシログラフの実際の記録写真が示してある。この中の曲線Ⅰは時間目盛で、Ⅱは金網のある場合、Ⅲは金網のない場合の記録である。このように金網やスリットを設けることによりふらつきを小さくできる。

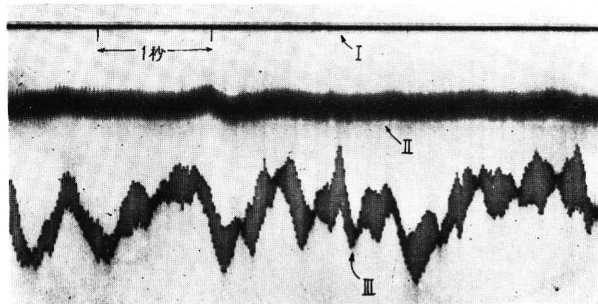
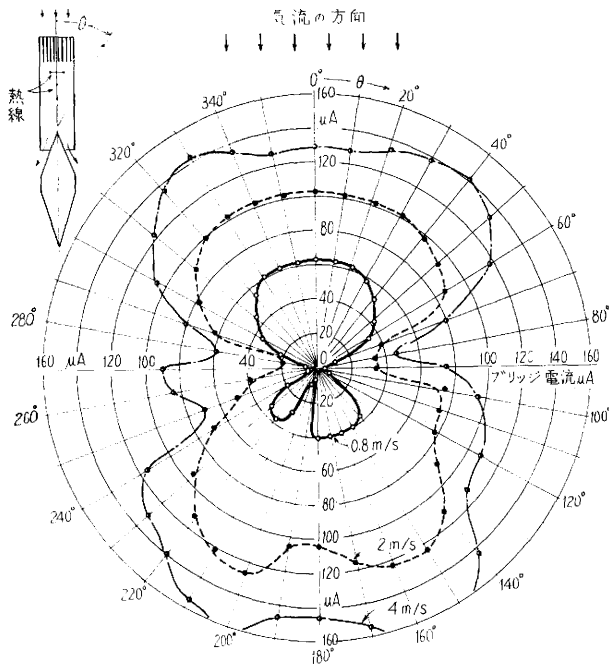


写真1 電磁オシログラフによる指示のふらつきの記録

6. 示 向 性

裸の熱線を気流中においた場合、熱線に対する気流の方向は何であっててもその指度にはほとんど変化がない。しかし実際には指向性のある方が望ましい場合もあるから熱線に指向性を持たせる方法について研究し、つぎの一案を得た。熱線を筒の中に置くと、この筒と直角の方向の気

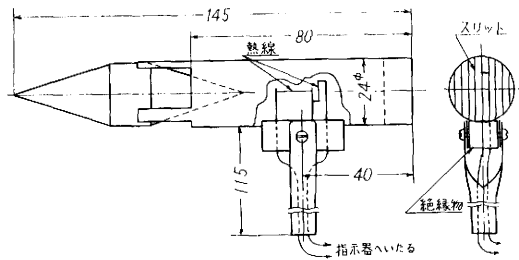


第10図 熱線風速計の指向性

と寸法を示したもので、第10図は指向性を調べた結果を示したものである。この図は気流に対し種々の方向 θ に受風器を向けたときの指度を、半径方向の長さにとっている。風速はそれぞれ 0.8 m/s 、 2 m/s 、 4 m/s の3種類とした。このように風速 2 m/s および 4 m/s の場合はほとんど相が認められないが、低風速の場合は指向性が優れていることが分る。実際 2 m/s 程度以上の風速であれば計器を用いなくても風の方向は容易に判定できるから、この程度の性能で充分実用に供し得ることができるものと考えられる。

7. 回路その他の問題

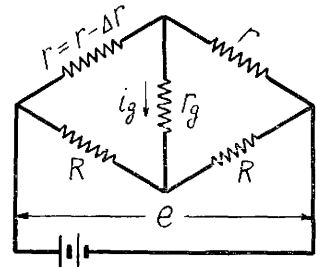
実測しようとする現場に計器を携帯して簡単に使用できるように電池の容量は小さい方が望ましい。今第11図に示す回路図において r をそれぞれ白金熱線、(使用時 7Ω) R をマンガン抵抗線として R の値を大きくすれば全電流を少なくすることができるが感度は幾分低下する。第12図は一定風速におけるブリッジ電流と R との関係を示したものである。最



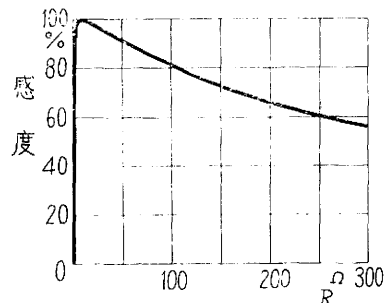
第9図 受風器の構造図

流には感じにくくなることは明らかであるが、この筒により気流が乱され指度が不安定となることが認められる。しかしこの筒の前に多数のスリットを設けると、指向性に対しても、指針のふらつきに対しても好結果を得ることが分った。しかしこれではスリットのある側の反対からの気流は前方からの気流とほとんど同じ程度の影響を与え前後の指向性を有しない。そこで筒の後部に金具を取付け熱線を通して気流は後方の側方に排出される形式のものとした。第9図はこのような形式の受風器

の構造



第11図



第12図

も感度のよいのは4辺の抵抗が相等しい場合で、この場合と比較して約80%程度の感度の低下を認めれば $r=7\Omega$ のとき R を 100Ω とすることができ、 R の電流を充分小さく(約20mA)することができる。つぎにこの条件の下で感度を最大にするためにはブリッジの電流 i_g に与える指針の回転力を最大とすればよく、それには r_g に加わる電力を最大ならしめればよい。今第11図に示すようにブリッジの抵抗を $r_g\Omega$ 、電源電圧を eV 、一辺の抵抗を $r-\Delta r$ とすれば i_g はKirchhoffの法則を適用して次式で与えられる。

$$i_g = eR\Delta r \{2(2r-\Delta r)Rr_g + 2r^2R - 2Rr\Delta r + 2R^2r - R^2\Delta r\}^{-1}$$

ブリッジを流れる電流の電力を W_g とすれば

$$W_g = k^2 r_g (\alpha r_g + \beta)^{-2}$$

ここに

$$\begin{cases} eR\Delta r = k \\ 2(2r-\Delta r)R = \alpha \\ 2r^2R - 2Rr\Delta r + 2R^2r - R^2\Delta r = \beta \end{cases}$$

W_g を最大ならしめるためには W_g を r_g について微分して零とおき、

$$r_g = \beta/\alpha$$

を得る。 Δr は充分小さい値であるから

$$r_g = 1/2(r+R)$$

そこで電流計の内部抵抗は約 50Ω が適当であることが分る。

上述のようなホイートストン・ブリッジは普通一旦平衡状態におけば全電流が変化しても平衡が破れないように思われるが、実際には熱線の抵抗、温度係数および張られている状態、熱線の周りの状態などの条件によって、電流が僅か変化してもブリッジの平衡が破れるのが普通である。一方測定に長時間を要しても指度に誤差が生じないためには、電流の僅かな変化に対してもブリッジの平衡が破れないことが必要である。この条件を満たす方法については回路の抵抗値は多少異なるが、文献8)に示した方法とほぼ同じであるからここでは省略する。

なおその他従来熱線はステムに半田付けされていたが、特殊な熔接器により、電気熔接することにより、熱線の抵抗値の経年変化をのぞくことができた。この熔接器は容量 $10\mu F$ の蓄電器を電圧200Vに充電し、足踏式スイッチを操作することにより熔接箇所を通して放電し、熔接を行えるようにしたものである。

8. 気温その他の影響

気温の影響を調べるため、小さな室内($2\times 2\times 2m$)に風洞および風速測定装置などを置き、気温を種々変えて実験したが、気温誤差はほとんど認められなかった。また熱線温度に対して気温の影響は大きいのに反し、湿度および気圧の影響は極めて僅少であるから、これらの影響も無視し得る程度であろうと思われる。

9. 試 作

以上の基礎的研究に基づいて写真2に示すような風速計を試作した。二つ並んだ電流計の左はブリッジ電流を測るもので直接風速が目盛られており、右は総電流を測るものである。計器の左側に置

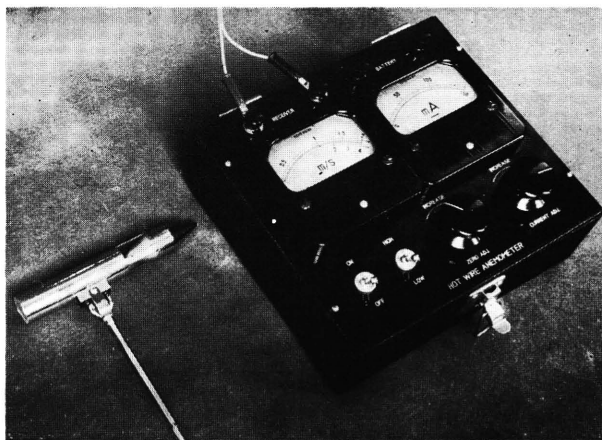
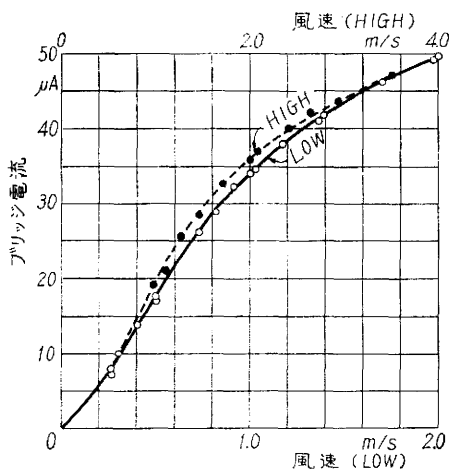


写真2 試作した熱線風速計



第13図 補正実験結果

適当に組合わすことにより特性を改良した。また受風器の構造や、電気回路上に工夫を加えて指向性をもった指針のふらつきの少ない計器とした。

本器はすでにいくつかの化学工場や鉱山において実用されている。

文 献

- 1) 平松, 段野 : 日本鉱業会誌 66巻, 743号, P.173 (昭和25年2月)
- 2) Huguenard, Magnan, Planiol : Comptes Rendus **176**, 287 (1923)
- 3) 河田, 吉田 : 航空研究所彙報, **58**, 218 (昭和4年)
- 4) 田村, 渡 : 静岡大学工学部研究報告, 4号, (1953)
- 5) 明石 : 無線と実験, 43巻, 6号, P.153
- 6) 平松, 段野 : 水曜会誌, 13巻, 8号, P.665 (昭和33年12月)
- 7) 青木, 友田 : 電気計器, 上巻, P.123
- 8) 平松, 段野, 寺田 : 日本鉱業会誌, 72巻, 815号, P.238 (昭和31年5月)

(受理年月日 昭和37年9月17日)

かれているものは指向性を持った受風器で、各部の寸法は第9図のようである。この計器の補正実験結果の一例は第13図のようである。LOW および HIGH の2本の補正曲線があるのは計器の切換スイッチにより風速測定範囲を $0 \sim 2 \text{ m/s}$ および $0 \sim 4 \text{ m/s}$ の2段に切換えられるようにしたためである。

10. 結 論

2 m/s 程度以下の低風速測定用熱線風速計を研究試作し、ほぼ実用に供し得るものを得た。気温その他の影響は無視し得る程度である。また熱線を気流に直角に置いた熱線風速計では極く低風速では極めて感度はよいが、風速の増加とともに急激に感度が低下するので、気流に直角に置いた熱線と、平行に置いた熱線を